



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**OPTIMASI KAPASITAS DAN PELETAKAN PEMBANGKIT
TERSEBAR BERDASARKAN STABILITAS TEGANGAN
MENGUNAKAN HPSO**

Hertalina Anastassia H
NRP 2212106084

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**OPTIMUM DISTRIBUTED GENERATION UNITS PLACEMENT
AND SIZING BASED ON STABILTY VOLTAGE USING HPSO**

Hertalina Anastassia H.
NRP 2212106084

Supervisors
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

OPTIMASI KAPASITAS DAN PELETAKAN PEMBANGKIT TERSEBAR BERDASARKAN STABILITAS TEGANGAN MENGGUNAKAN HPSO

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Ardyono Privadi, S.T., M.Eng.
NIP. 197309271998031004


Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198006032006041003



Optimasi Kapasitas dan Peletakan Pembangkit Tersebar Berdasarkan Stabilitas Tegangan Menggunakan HPSO

Hertalina Anastassia Hasibuan
2212106084

Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Pembimbing II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

Salah satu permasalahan sistem pembangkitan tenaga listrik di Indonesia adalah kebutuhan tenaga listrik yang mengalami peningkatan secara pesat. Sistem pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik yang ada saat ini tidak akan bisa memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat. *Distributed Generation* (DG) merupakan pembangkit tenaga listrik yang terhubung dengan jaringan distribusi atau langsung terhubung ke beban. DG mempunyai kelebihan selain membangkitkan daya, termasuk mengurangi kerugian daya, meningkatkan profil tegangan, meningkatkan kestabilan sistem, mengurangi polusi emisi, dll. HPSO merupakan modifikasi kecerdasan buatan yaitu PSO yang menirukan perilaku burung dalam mencari makanan. Pada tugas akhir ini dilakukan optimasi penentuan kapasitas dan peletakkan multiDG dengan menggunakan algoritma HPSO pada sistem radial IEEE 33 bus. Simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Dari hasil simulasi yang diperoleh, pemasangan multi DG pada sistem distribusi dapat memperbaiki profil tegangan sistem pada tiap bus dan mengurangi kerugian daya pada sistem.

Kata Kunci : HPSO, *Distributed Generation*, Distribusi

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Optimum Distributed Generation Units Placement and Sizing Based on Stability Voltage Using HPSO

Hertalina Anastassia Hasibuan
2212106084

Supervisor I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Supervisor II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

One of the biggest problem in power system is the demand of power system is growing exponentially. The existing generation and transmission system are unable to support the power demand. Distributed Generation (DG) is a power plant that located in distribution network and it usually placed in load bus. DG has many advantages over generate power, including power losses reduction, voltage profile improvement, system stability improvement, pollutant emission reduction and others.. HPSO is a modification of Artificial Intelligent, PSO that imitate birds when they look for foods. In this final project, placement and sizing DG in IEEE 33 bus radial distribution system has been optimized using HPSO with MATLAB. The test results show that setting DG in distribution system using HPSO can improve the voltage profile in each bus of the system and also can decrease total power losses in distribution system

Keywords : HPSO, Distributed Generation, Distribution

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR KEASLIAN

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK i

ABSTRACT iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR TABEL xi

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Tujuan Penelitian 2

1.3 Permasalahan 2

1.4 Batasan Masalah 2

1.5 Metodologi Penelitian..... 2

1.6 Sistematika Penulisan 3

1.7 Relevansi 4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik 5

2.1.1 Sistem Distribusi Jaringan *Radial*..... 5

2.1.2 Sistem Distribusi Jaringan *Loop* 6

2.1.3 Sistem Distribusi Jaringan *Spindel* 8

2.2 Besaran Per Unit[4] 9

2.3 Analisa Aliran Daya[5]..... 10

2.4 *Distributed Generation* 14

2.4.1 Jenis DG..... 15

2.4.2 Pengaruh DG pada Sistem Tenaga..... 16

2.4.2.1 Pengaruh DG terhadap Regulasi Tegangan 16

2.4.2.2 Pengaruh DG terhadap Kerugian Daya 16

2.4.3 Keuntungan DG 16

2.4.4	Kerugian DG	17
2.5	Kestabilan Tegangan	17
2.6	<i>Particle Swarm Optimization</i>	17
2.6.1	Inisialisasi Posisi dan Kecepatan Partikel.....	19
2.6.2	Penentuan Gbest dan Pbest.....	20
2.6.3	Pembaruan Kecepatan dan Posisi Partikel.....	20
2.7	<i>Hybrid Particle Swarm Optimization</i>	21
BAB 3 PENERAPAN HPSO PADA PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS DG		23
3.1	Algoritma HPSO pada Proses Peletakan dan Penentuan Kapasitas DG.....	23
3.2	Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	26
3.3	Perhitungan Lambda Tegangan	29
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA		31
4.1	Simulasi Tanpa DG	31
4.2	Simulasi dengan Pemasangan Satu DG.....	35
4.3	Simulasi dengan Pemasangan Dua DG	39
4.4	Simulasi dengan Pemasangan Tiga DG.....	43
4.5	Perbandingan Ketiga Simulasi Pemasangan DG	47
4.6	Perbandingan HPSO dengan Pemasangan DG berdasarkan Letak Tegangan Kritis	48
BAB 5 PENUTUP		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem distribusi <i>radial</i>	6
Gambar 2. 2 Sistem distribusi <i>loop</i>	7
Gambar 2. 3 Sistem distribusi <i>spindel</i>	8
Gambar 2. 4 <i>Single Line Diagram</i> distribusi radial	11
Gambar 2. 5 Algoritma PSO dalam Koordinat.....	18
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> HPSO	24
Gambar 3. 2 <i>Single Line Diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 33 bus	26
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> perhitungan lambda tegangan.....	29
Gambar 4. 1 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus sebelum pemasangan DG	33
Gambar 4. 2 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus setelah pemasangan satu DG	37
Gambar 4. 3 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus setelah pemasangan dua DG.....	41
Gambar 4. 4 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus setelah pemasangan tiga DG	45
Gambar 4. 5 Profil tegangan pada sistem IEEE 33 bus saat sebelum dan sesudah pemasangan DG	47
Gambar 4. 6 Profil tegangan saat pemasangan Satu DG berdasarkan tegangan kristis	49
Gambar 4. 7 Profil tegangan saat pemasangan dua DG berdasarkan tegangan kristis	50
Gambar 4. 8 Profil tegangan saat pemasangan tiga DG berdasarkan tegangan kristis	51

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Besaran listrik dan satuannya	9
Tabel 2. 2 Jenis DG	15
Tabel 3. 1 Data beban pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	27
Tabel 3. 2 Data impedansi saluran pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	28
Tabel 4. 1 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus sebelum pemasangan DG.....	31
Tabel 4. 2 Rugi daya tiap saluran sebelum pemasangan DG.....	34
Tabel 4. 3 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan satu DG.....	35
Tabel 4. 4 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan satu DG	38
Tabel 4. 5 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan dua DG.....	39
Tabel 4. 6 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan dua DG	42
Tabel 4. 7 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan tiga DG.....	43
Tabel 4. 8 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan tiga DG	46
Tabel 4. 9 Aplikasi HPSO pada penentuan letak dan kapasitas DG.....	48
Tabel 4. 10 Peletakkan DG berdasarkan nilai tegangan kritis	48

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Tidak lupa penyusun menyadari bahwa ini semua juga atas bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu dengan penuh rasa hormat dan rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan kepercayaan, dukungan dan doa.
3. Kepada Bapak Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. dan Bapak Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D. atas bimbingan selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen penguji atas arahan dan kritikan yang telah diberikan demi kesempurnaan alat yang kami buat.
5. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Elektro ITS atas fasilitas dan waktu yang diberikan.
7. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2012 semester genap bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Akhir kata, segala kritik dan saran sangat saya harapkan untuk pengembangan selanjutnya.

Surabaya, Januari 2015

Penyusun

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan sistem pembangkitan tenaga listrik di Indonesia adalah kebutuhan tenaga listrik yang mengalami peningkatan secara pesat. Sistem pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik yang ada saat ini tidak akan bisa memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembangan pada sistem tenaga listrik yang ada saat ini. Salah satu pengembangan yang dilakukan adalah dengan adanya *Distributed Generation* (DG).[1]

Distributed Generation (DG) merupakan pembangkit tenaga listrik yang terhubung dengan jaringan distribusi atau langsung terhubung ke beban.[2] Sumber DG dapat berupa generator diesel, turbin gas, dan sumber energi terbarukan seperti turbin angin dan *photovoltaic*. DG mempunyai kelebihan selain membangkitkan daya, termasuk mengurangi kerugian daya, meningkatkan profil tegangan, meningkatkan kestabilan sistem, mengurangi polusi emisi, dll.[1]

Kestabilan tegangan merupakan hal sangat penting untuk menjaga keandalan sebuah sistem distribusi. Selain kestabilan tegangan yang tidak melewati regulasi yang ada. Sebuah sistem diharapkan memiliki kerugian daya yang kecil disamping untuk meningkatkan keandalan sistem, tetapi juga untuk menekan biaya operasional. Untuk memperoleh manfaat dari DG, perlu dilakukan optimisasi dalam penempatan dan penentuan kapasitas DG.

Pada tugas akhir ini, untuk penempatan dan penentuan kapasitas DG digunakan metode *Hybrid Particle Swarm Optimization* (HPSO). Metode ini merupakan salah satu jenis dari *Artificial Intellegent* (AI). HPSO merupakan pengembangan dari metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). PSO mempunyai konsep yang sederhana dan mudah diimplementasikan, tetapi memiliki kekurangan yaitu hasil terbaik yang diperoleh kemungkinan akan diolah lagi sehingga hasil terbaik akan berubah. Oleh karena itu dilakukan pengembangan atas metode ini yaitu HPSO. Dengan menggunakan metode ini diharapkan proses penentuan letak dan kapasitas DG dapat diperoleh lebih efektif.

1.2 Tujuan Penelitian

Tugas akhir ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan pemasangan DG yaitu penentuan letak dan kapasitas DG menggunakan metode *Hybrid Particle Swarm Optimization* (HPSO) sehingga didapatkan kestabilan tegangan pada sistem dan mengurangi rugi daya pada saluran distribusi tenaga listrik.

1.3 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Penempatan dan menentukan kapasitas pembangkit tersebar untuk menjaga kestabilan tegangan pada sistem distribusi jaringan radial.
2. Penempatan dan menentukan kapasitas pembangkit tegangan untuk menjaga kestabilan tegangan pada bus pada sistem jaringan radial berdasarkan metode HPSO.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Simulasi dan analisa menggunakan *software* Matlab.
2. Jaringan yang digunakan merupakan sistem distribusi radial.
3. Analisa dilakukan pada sistem distribusi IEEE 33 bus.
4. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah adalah metode HPSO.

1.5 Metodologi Penelitian

Pada Tugas Akhir ini dibuat program untuk mendapatkan letak dan kapasitas DG untuk mendapatkan kestabilan tegangan menggunakan metode HPSO. Program dibuat dengan menggunakan *software* MATLAB. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori penunjang tugas akhir ini baik dari buku maupun jurnal. Teori – teori penunjang yang berhubungan dengan tugas akhir ini meliputi kestabilan tegangan dan kualitas daya pada sebuah sistem

kelistrikan yang dipengaruhi oleh penempatan DG serta teori-teori tentang HPSO.

2. Perancangan Simulasi Sistem

Perancangan simulasi dilakukan dengan melakukan penempatan pembangkit tersebar pada sistem distribusi IEEE 33 bus radial berdasarkan metode yang digunakan yaitu HPSO. Dalam perancangan simulasi ini akan ditentukan penempatan dan kapasitas dari pembangkit tersebar. Penempatan pembangkit tersebar akan dilakukan secara bertahap dengan jumlah pembangkit tersebar yang diatur.

3. Simulasi sistem dan Analisa data

Pemodelan dari perancangan simulasi sistem distribusi IEEE 33 bus radial dilakukan perhitungan aliran daya untuk mengetahui apakah sistem sudah sesuai standar *limit* tegangan. Pemodelan dan perhitungan aliran daya dilakukan di MATLAB untuk dilakukan analisa data.

4. Kesimpulan

Kesimpulan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan. Berdasarkan analisa data, penulis dapat mengambil kesimpulan tentang penempatan dan kapasitas yang paling optimal untuk mendapatkan kestabilan tegangan yang memenuhi standar dan perbaikan kualitas daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

Bab 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.

Bab 2 DASAR TEORI

Dasar teori yang merupakan penjelasan teori mengenai DG, sistem distribusi tenaga listrik, analisa aliran daya dan metode HPSO.

Bab 3 PENERAPAN HPSO PADA PROSES PELETAKKAN DAN PENENTUAN KAPASITAS DG

- Bab ini berisi tentang penerapan HPSO pada peletakkan dan penentuan kapasitas optimal DG pada sistem distribusi.
- Bab 4 **HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA**
Bab ini berisi hasil simulasi peletakkan dan penentuan kapasitas DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan metode HPSO serta analisa terhadap kestabilan tegangan.
- Bab 5 **PENUTUP**
Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan dan saran-saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dengan DG.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang sistem tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik[3]

Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk menuju kelompok beban. Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah)
2. Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah)

Jaringan distribusi primer merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi dan berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (contoh 6 kV atau 20 kV). Sedangkan jaringan distribusi sekunder merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (contoh 220/380 V). Gardu distribusi merupakan tempat/ sarana dimana terdapat transformator *step down* yaitu transformator yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah.

Berdasarkan konfigurasi jaringan, jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Sistem distribusi jaringan *radial*
2. Sistem distribusi jaringan *loop*
3. Sistem distribusi jaringan *spindel*

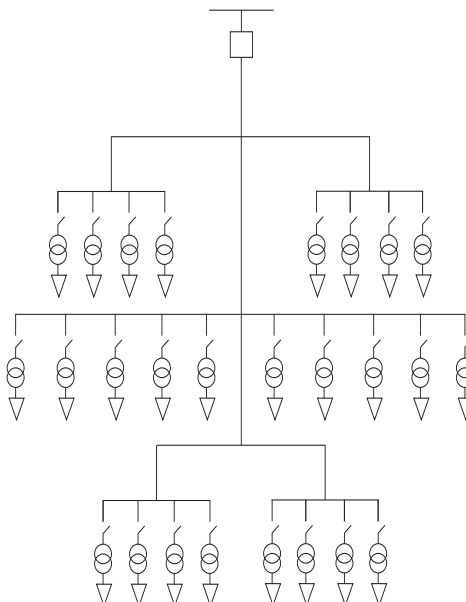
2.1.1 Sistem Distribusi Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana dan banyak digunakan karena biaya yang murah. Jaringan ini disebut jaringan radial karena sistem ini memiliki beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan di atas tiang.

Pada konfigurasi *radial* terdapat beberapa kekurangan, misalnya dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan daya yang kurang baik. Kualitas daya yang kurang baik ini disebabkan oleh rugi tegangan dan rugi daya yang relatif besar. Kontinuitas pelayanan daya

yang kurang baik disebabkan hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai daya, sehingga saat jalur tersebut mengalami gangguan, maka akan terjadi pemadaman total. Kelemahan lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi paling ujung kurang baik yang disebabkan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran. Konfigurasi saluran distribusi seperti gambar 2.1.



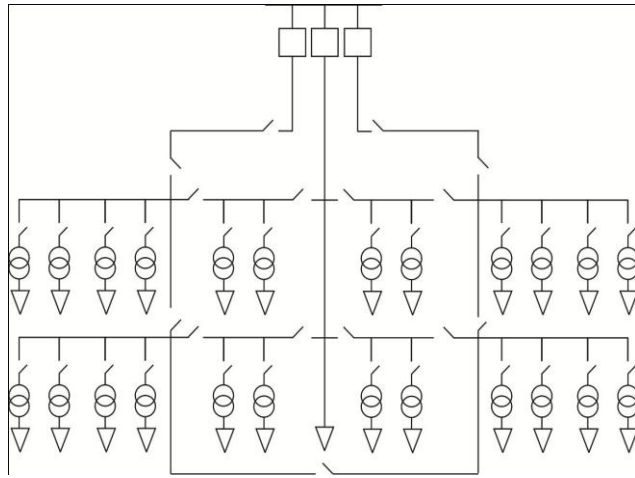
Gambar 2. 1 Sistem distribusi *radial*

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk distribusi radial dilengkapi dengan peralatan pengaman yang berfungsi untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2.1.2 Sistem Distribusi Jaringan *Loop*

Pada konfigurasi ini membentuk jaringan tertutup sehingga memiliki nama lain yaitu jaringan *ring*. Konfigurasi jaringan seperti gambar 2.2 memungkinkan beban dilayani oleh dua arah saluran

sehingga kontinuitas pelayanan lebih baik. Kontinuitas daya lebih baik karena saat terjadi gangguan pada salah satu saluran maka saluran setelah gangguan mampu disuplai oleh sumber lain.



Gambar 2. 2 Sistem distribusi *loop*

Konfigurasi diatas membuat keandalan sistem jaringan ini lebih baik dari jaringan radial. Bentuk sistem jaringan distribusi *loop* ada dua macam, yaitu:

1. *Open Loop*

Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi *normally open switch* sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu terbuka.

2. *Close Loop*

Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi *normally close switch* sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu tertutup.

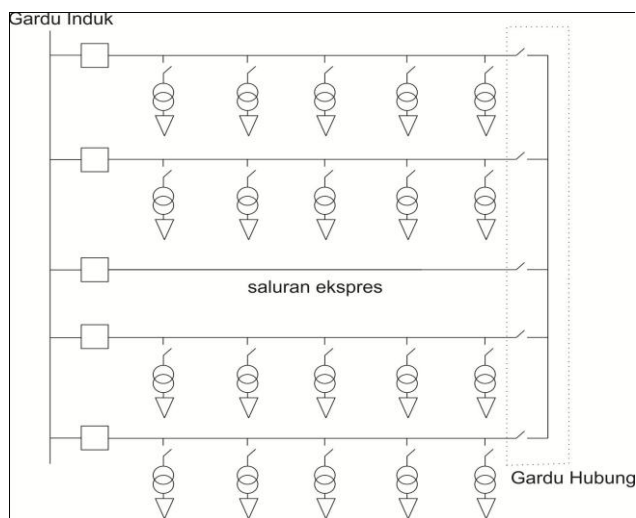
Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak

terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur *loop*, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur *radial*.

Pada sistem ini memiliki kekurangan dalam hal investasi yang lebih mahal. Sistem ini digunakan pada daerah padat dan memerlukan keandalan tinggi.

2.1.3 Sistem Distribusi Jaringan *Spindel*

Saluran konfigurasi *spindel* yang menggunakan kabel tanah tegangan menengah yang digunakan untuk kota-kota besar. Sistem jaringan *spindle* menggunakan saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan gardu hubung seperti gambar 2.3. Saluran ini digunakan untuk memasok energi listrik cadangan untuk gardu hubung.



Gambar 2. 3 Sistem distribusi *spindel*

Saat saluran mengalami gangguan, maka saklar pada bagian yang terganggu akan dibuka. Kemudian saluran lain yang terhubung oleh gardu hubung mendapat suplai dari saluran ekspres sehingga bagian yang tidak terganggu akan tetap tersuplai energi.

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain :

1. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
2. Menurunkan atau menekan rugi daya akibat gangguan.
3. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

2.2 Besaran Per Unit[4]

Besaran per unit merupakan besaran yang digunakan untuk mempermudah dalam perhitungan. Perhitungan dalam sistem tenaga listrik menggunakan besaran yang nilainya besar. oleh sebab itu diperlukan metode untuk mengatasi permasalahan tersebut. Besaran per unit menggantikan besaran yang sebenarnya. Perhitungan pada sistem tenaga listrik menjadi lebih sederhana disebabkan oleh besaran per unit seperti persamaan 2.1.

$$pu = \frac{\text{Besaran Sesungguhnya}}{\text{Besaran Dasar}} \quad (2.1)$$

Besaran per unit merupakan besaran yang besaran per satuan merupakan besaran yang dinormalisasi untuk analisis sistim tenaga. Besaran yang dinormalisasi berupa arus, tegangan, impedansi dan daya yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Besaran listrik dan satuannya

Besaran	Simbol	Satuan
Arus	I	Amper
Tegangan	V	Volt
Daya	S	Volt Amper
	P	Watt
	Q	Var
Impedansi	Z	Ohm
Sudut Fasa	θ	Derajat

Untuk memperoleh semua besaran dasar hanya diperlukan memilih 2 besaran dasar. Hal tersebut ditunjukkan pada rumus 2.2 dan 2.3.

$$I_{\text{Dasar}} = \frac{\text{Daya Dasar (KVA}_b\text{)}}{\text{Tegangan Dasar (KV}_b\text{)}} \quad (2.2)$$

$$Z_{\text{Dasar}} = \frac{(\text{Tegangan Dasar (KV}_b\text{)})^2}{\text{Daya total Dasar (MVA}_b\text{)}} \quad (2.3)$$

2.3 Analisa Aliran Daya[5]

Analisis aliran daya merupakan analisis dasar pada sistem tenaga listrik. Hal ini digunakan untuk menganalisa proses penyaluran daya dari sumber menuju ke beban. Aliran daya yang disalurkan berupa daya aktif dan daya reaktif. Pada proses penyaluran daya akan terjadi penurunan level tegangan. Hal ini disebabkan adanya nilai impedansi yang berasal dari saluran berupa kabel dan peralatan lain yang dilewati arus listrik.

Tujuan utama dari analisa aliran daya ini adalah:

1. Mengamati aliran daya aktif dan daya reaktif pada setiap saluran.
2. Memeriksa level tegangan dan pengaturan level tegangan.
3. Mengetahui besarnya nilai drop tegangan di saluran.

Untuk dapat mengetahui nilai tegangan di setiap bus, maka diperlukan data saluran dan data bus dari sistem kelistrikan yang akan diamati. Data saluran terdiri berupa nilai resistansi dan reaktansi penghantar dan panjang kabel. Data saluran tersebut digunakan sebagai pertimbangan untuk menghitung tegangan jatuh yang melewati saluran tersebut. Sedangkan data bus terdiri dari nilai daya aktif dan reaktif yang melewati bus tersebut.

Pada tugas akhir ini untuk analisa aliran daya digunakan metode *Forward Backward Sweep* yang dimodifikasi dengan metode *network topology*. Untuk menganalisa aliran daya dengan menggunakan metode ini jaringan distribusi radial direpresentasikan seperti pohon dengan bus pertama adalah sebagai akar atau *slack bus*. Dan bus yang lain sebagai cabangnya atau bus beban. Dengan menggunakan metode ini analisa aliran daya untuk sistem distribusi terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi. Metode *forward-backward sweep* yang dimodifikasi ini menggunakan prinsip hukum Kirchoff untuk perhitungan arus. Langkah kerja metode *forward-backward sweep* yang pertama adalah *backward sweep* dengan menghitung besar arus

yang mengalir pada saluran dari bus paling awal hingga akhir. Yang kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai jatuh tegangan (*voltage drop*) pada setiap saluran dengan mengkalikan nilai arus yang telah dihitung sebelumnya dengan nilai impedansi salurannya.

Untuk menghitung arus cabang didapatkan dari hubungan daya kompleks dan tegangan pada setiap bus, seperti persamaan dibawah ini :

$$I_i^k = \text{conj} \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right) \quad (2.4)$$

Dimana :

I_i^k = arus pada bus i saat iterasi ke-k

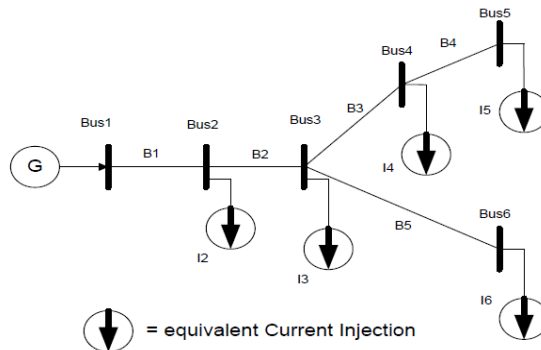
V_i^k = tegangan pada bus i saat iterasi ke-k

P_i = Daya Aktif pada bus i

Q_i = Daya Reaktif pada bus i

Sebelum mengimplementasikan metode *forward-backward sweep* diperlukan memodifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi. Salah satunya adalah dengan membentuk matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) adalah matrik hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi.

Gambar 2. 4 merupakan *single line diagram* untuk pembentukan matrik untuk persamaan aliran daya.



Gambar 2. 4 *Single Line Diagram* distribusi radial

Dari *single line diagram* diatas didapatkan persamaan untuk membentuk matrik BIBC, dengan menggunakan hukum Kirchoff untuk arus (Kirchoff *Current Law*). Arus cabang I terhadap bus/saluran B. Maka persamaan yang didapat adalah seperti berikut :

$$\begin{aligned} B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_3 &= I_4 + I_5 \\ B_4 &= I_5 \\ B_5 &= I_6 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Setelah didapatkan persamaan diatas kemudian dibentuk matrik BIBC adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Angka 1 menyatakan adanya hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi. Angka 0 menyatakan tidak adanya hubungan antara keduanya.

Dan matrik BIBC dapat disederhanakan menjadi berikut :

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.7)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk drop tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \\ V_3 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\ V_4 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\ V_5 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\ V_6 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dari persamaan diatas dapat dibentuk matrik BCBV yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran. Bentuk matrik BCBV sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Dan matrik BCBV dapat disederhanakan menjadi berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.10)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV . Persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.11)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.12)$$

Dengan didapatkan matrik BIBC, BCBV dan ΔV kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut:

$$[V_i] = [V_1] - [\Delta V] \quad (2.13)$$

Dalam perhitungan analisa aliran daya pada tugas akhir ini, metoda *forward backward sweep* ini dimodifikasi dengan metode Zbr yang diimplementasikan pada k-matrik. Pada tugas akhir ini metode K-matrik digunakan untuk membuat matrik BIBC. Sama dengan matrik BIBC, metode K-matrik ini membentuk matrik dari saluran distribusi radial yang menunjukkan arah arus dari satu bus ke bus yang lain. Hanya saja K-matrik memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen matrik BIBC. Tetapi bentuk dari K-matrik terdapat persamaan bentuk dan komposisi dari matrik BIBC.

Dari *single line diagram* pada gambar 2.4 diatas maka didapatkan K-matriks-nya adalah sebagai berikut :

$$K\text{-matriks} = \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Pada metode topologi jaringan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa persamaan untuk menghitung jatuh tegangan adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.15)$$

Dan dapat dirumuskan bahwa hubungan antara K-matrik dan BIBC adalah sebagai berikut :

$$[BIBC] = -[K\text{matrik}] \quad (2.16)$$

Selanjutnya untuk membangun matrik BCBV adalah dengan mentransposekan matrik BIBC atau matrik K kemudian dikalikan dengan matrik impedansi saluran. Dan persamaannya seperti berikut:

$$BCBV = -[K\text{matrik}]' \times [\text{Impedansi Saluran}] \quad (2.17)$$

Dan untuk menghitung jatuh tegangan pada setiap saluran dengan menggunakan metode K-matrik adalah sebagai berikut:

$$[\Delta V] = -[K\text{matrik}]' \times [\text{Impedansi Saluran}] \times -[K\text{matrik}] \times [I] \quad (2.18)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.19)$$

2.4 Distributed Generation

Distributed Generation (DG) adalah salah satu sumber tenaga listrik yang digunakan untuk memenuhi bertambahnya kebutuhan energi listrik. DG merupakan pembangkit yang ditempatkan di jaringan distribusi dan langsung terhubung ke konsumen.[2]

2.4.1 Jenis DG

Berdasarkan daya yang dihasilkan DG dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu: [1]

1. DG yang menghasilkan daya aktif (P) saja, seperti *photovoltaic*.
2. DG yang menghasilkan daya reaktif (Q) saja, seperti kompensator sinkron.
3. DG yang menghasilkan daya aktif (P) tetapi menyerap daya reaktif, seperti generator induksi.
4. DG yang menghasilkan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), seperti generator sinkron.

Berdasarkan besaran daya yang dihasilkan, DG dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu: [2]

1. *Micro*-DG : ~1 kW - 5 kW
2. *Small* DG : 5 kW - 5 MW
3. *Medium* DG : 5 MW - 50 MW
4. *Large* DG : 50 MW - 300 MW

Ada beberapa jenis yang paling sering digunakan dengan kapasitas DG tersebut, yaitu [7] :

Tabel 2. 2 Jenis DG

Jenis DG	Kapasitas yang Tersedia
<i>Combined Cycle Gas Turbine</i>	35 – 400 MW
<i>Internal Combustion Engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Combustion Turbines</i>	35 kW – 1 MW
<i>Micro Turbine</i>	35 kW – 1 MW
<i>Fuel Cells, Phos. Acid</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel Cells, Molten Carbonate</i>	25 kW – 2 MW
<i>Fuel Cells, Proton Exchange</i>	1 – 250 kW
<i>Fuel Cells, Solid Oxide</i>	250 kW – 5 MW
<i>Small Hydro</i>	1 – 100 MW
<i>Micro Hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind Turbine</i>	200 W – 3 MW
<i>Photovoltaic Array (PV Arrays)</i>	20 W – 100 kW
<i>Solar Thermal, Central Receiver</i>	1 – 10 MW
<i>Solar Thermal, Luts System</i>	10 – 80 MW
<i>Geothermal</i>	5 – 100 MW
<i>Ocean Energy</i>	100 kW – 5 MW

2.4.2 Pengaruh DG pada Sistem Tenaga

Pemasangan DG pada sistem tenaga sangat mempengaruhi aliran daya dan keadaan tegangan di sisi konsumen dan peralatan. Pengaruh ini dapat memberikan pengaruh yang positif atau pengaruh yang negatif, tergantung kepada DG dan karakteristik sistem distribusi.

2.4.2.1 Pengaruh DG terhadap Regulasi Tegangan

Tegangan pada sistem distribusi radial diatur dengan mengatur tap transformator pada gardu induk. Dengan penambahan DG, tegangan pada feeder berubah arah dan besarnya aliran daya aktif dan reaktif. Pengaruh DG terhadap tegangan bisa berupa pengaruh yang positif maupun negatif tergantung karakteristik sistem distribusi, DG dan letak DG. [7]

2.4.2.2 Pengaruh DG terhadap Kerugian Daya

Penentuan letak DG merupakan salah satu kriteria penting untuk mendapatkan keandalan sistem yang baik dengan mengurangi kerugian daya. Penempatan DG untuk mengurangi kerugian daya memiliki kriteria yang sama seperti penempatan kapasitor bank untuk mengurangi kerugian daya. Perbedaan utamanya adalah DG memberikan daya aktif dan reaktif (P dan Q), sementara kapasitor bank hanya memberikan daya reaktif (Q). Penentuan letak DG terbaik dapat diperoleh dari analisa aliran daya, untuk mendapatkan tempat terbaik dan mengurangi kerugian daya sistem. Tetapi dalam penentuan letak DG ini harus memperhatikan batasan-batasan sistem sehingga tidak mengganggu sistem.

2.4.3 Keuntungan DG[8]

DG merupakan salah satu alternatif cara yang saat ini dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan tenaga listrik. Ada beberapa keuntungan DG yang membuat DG dapat dijadikan salah satu pilihan sebagai alternatif energi terbarukan, yaitu :

1. Ramah lingkungan
2. Memperbaiki kualitas daya
3. Meningkatkan keandalan

2.4.4 Kerugian DG[8]

Disamping meningkatkan keandalan, pemasangan DG skala besar dapat menyebabkan beberapa kerugian :

1. Mengakibatkan perubahan pada level tegangan.
2. Investasi cukup mahal
3. Mempengaruhi frekuensi listrik.

2.5 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan yang diterima di setiap bus dalam sistem tersebut saat beroperasi normal dan atau setelah mengalami gangguan. Suatu sistem mengalami ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, meningkatnya permintaan beban atau perubahan dalam kondisi sistem yang mengakibatkan perubahan yang drastis dan yang tidak terkontrolnya penurunan tegangan.

Kestabilan tegangan ini berhubungan erat dengan tegangan jatuh yaitu perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima. Sebuah sistem dikatakan memiliki tegangan yang stabil jika, pada kondisi operasi, setiap bus, saat daya reaktif diberikan maka tegangan pada bus juga mengalami kenaikan. Sebuah sistem dikatakan memiliki tegangan yang tidak stabil jika setidaknya ada satu bus, apabila daya reaktif diberikan tegangan pada bus tersebut mengalami penurunan.

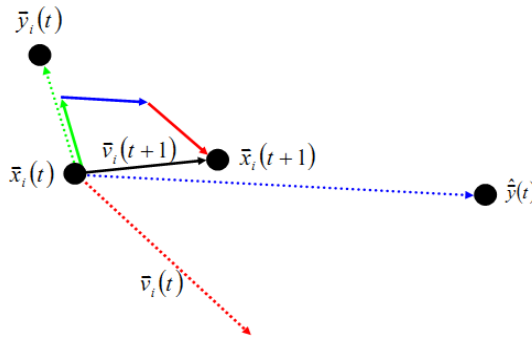
Ketidakstabilan tegangan bisa disebabkan oleh beberapa alasan, antara lain:

1. Penambahan beban
2. Pembangkitan
3. Perubahan tap trafo
4. Pelepasan generator

2.6 Particle Swarm Optimization[9]

Particle Swarm Optimization diperkenalkan oleh Dr. Kennedy dan Dr. Eberhart pada tahun 1995. Dasar ide algoritma tersebut terinspirasi dari perilaku sosial hewan. Perilaku sosial berupa proses alami untuk saling berkomunikasi dalam berbagi pengetahuan individu ketika mencari makanan dan bermigrasi pada suatu kelompok seperti sekelompok burung, sekelompok lebah dan sebagainya. Saat salah satu anggota mendapatkan jalur yang diinginkan maka sisa anggota lain akan mengikuti secara cepat.

Particle swarm optimization (PSO) merupakan algoritma untuk mencari nilai fungsi minimum atau maksimum berdasarkan oleh populasi baru. PSO memiliki kelebihan dalam mencari nilai optimasi non-linear yang kompleks. Particle swarm optimization terbukti dapat menemukan solusi terbaik pada masalah optimisasi.



Gambar 2. 5 Algoritma PSO dalam Koordinat

Berbeda dengan teknik komputasi evolusioner lainnya, setiap *particle* di dalam PSO juga berhubungan dengan suatu *velocity*. *Particle-particle* tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan *velocity* yang dinamis yang disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh sebab itu, partikel-partikel mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran.

PSO mempunyai kesamaan dengan *genetic algorithm* yang mana dimulai dengan suatu populasi yang random dalam bentuk matriks. Namun PSO tidak memiliki operator evolusi yaitu *crossover* dan mutasi seperti yang ada pada *genetic algorithm*. Baris pada matriks disebut *particle* atau dalam *genetic algorithm* sebagai kromosom yang terdiri dari nilai suatu variabel. Setiap *particle* berpindah dari posisinya semula ke posisi yang lebih baik dengan suatu *velocity*.

Beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. *Swarm* : populasi dari suatu algoritma.
2. *Particle*: anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap *particle* merepresentasikan suatu solusi yang potensial pada

permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu particle adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.

3. *Pbest (Personal best)*: posisi *Pbest* suatu particle yang menunjukkan posisi particle yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. *Gbest (Global best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm*.
5. *Velocity* (vektor): vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah di mana suatu particle diperlukan untuk berpindah (move) untuk memperbaiki posisinya semula.
6. *Inertia weight* : inertia weight di simbolkan w , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.

Prinsip kerja dari PSO adalah sebagai berikut:

1. Menginisialisasi populasi dari *particle* dengan posisi dan *velocity* secara *random*.
2. Mengevaluasi *fitness* optimasi yang diinginkan.
3. Membandingkan evaluasi *fitness* dengan *Pbest*nya. Jika nilai yang ada lebih baik dibandingkan dengan nilai *Pbest*nya, maka *Pbest* diset sama dengan nilai tersebut.
4. Mengeset *Pbest* sebagai *Gbest*.
5. Meng-*update* nilai *velocity* dan posisi *particle*.
6. Mengecek apakah semua kriteria terpenuhi sampai ditemukan nilai *fitness* yang diharapkan dibatasi dengan nilai iterasi maksimum.

2.6.1 Inisialisasi Posisi dan Kecepatan Partikel

Inisialisasi pada HPSO sama halnya dengan inisialisasi pada PSO yaitu banyaknya partikel yang disebar untuk pencarian posisi terbaik global dalam proses optimasi. Penentuan batas maksimum dan minimum posisi partikel dalam *range* [x_{min} x_{max}] dikehendaki agar partikel tidak tersebar ke luar dimensi pencarian. Posisi dalam hal ini merupakan representasi dari suatu parameter yang diperbaiki dalam pencarian posisi terbaik yaitu dalam penelitian ini adalah pembobotan(*weight*).

Selain dilakukan inisialisasi pada posisi partikel, maka diperlukan pula inisialisasi pada kecepatan tiap partikel. Kecepatan partikel dibatasi dalam suatu *range* [$-v_{min}$ v_{max}] agar partikel tidak terlalu cepat bergerak dalam melakukan perpindahan posisi sehingga seluruh partikel dapat bergerak secara harmonis.

2.6.2 Penentuan Gbest dan Pbest

Tiap partikel menganggap dirinya sebagai pemilik posisi lokasi terbaik (Pbest) dalam tiap iterasi. Penentuan posisi global terbaik (Gbest) ditentukan setelah dilakukan pencarian posisi yang paling optimal dari seluruh partikel yang telah menganggap dirinya sebagai Pbest. Parameter Gbest menjadi informasi yang sangat penting bagi pergerakan partikel-partikel lainnya dalam pencarian posisi karena mempengaruhi pergerakan partikel untuk iterasi berikutnya. Pbest dan Gbest diperoleh berdasarkan nilai fitness dari fungsi objektif HPSO.

2.6.3 Pembaruan Kecepatan dan Posisi Partikel

Setelah diperoleh parameter Pbest dan Gbest, maka proses iterasi selanjutnya melakukan pembaruan kecepatan dan posisi partikel untuk mencari hasil yang lebih optimal. Partikel-partikel yang menempatkan posisi belum mencapai optimal bergerak menuju suatu partikel yang menemukan solusi terbaik pada tiap iterasi. Persamaan pembaruan kecepatan dan posisi partikel dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$v_{id}^{t+1} = w \cdot v_{id}^t + c_1 \cdot r_1 \cdot (pbest_{id} - x_{id}) + c_2 \cdot r_2 \cdot (gbest_{id} - x_{id}) \quad (2.20)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (2.21)$$

Dimana:

v_{id} = kecepatan partikel,

x_{id} = posisi partikel,

t = jumlah iterasi,

d = jumlah inisial partikel,

c_1, c_2 = konstanta percepatan,

r_1, r_2 = nilai random.

Persamaan untuk *inertia weight* adalah :

$$w = w_{\max} + \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iterasi max}} \times t \quad (2.22)$$

Dimana:

$w_{\max} = 0.9$,

$w_{\min} = 0.4$.

2.7 Hybrid Particle Swarm Optimization[1]

Dalam menyelesaikan optimasi penentuan letak dan kapasitas DG ada dua masalah terjadi :

- 1 Karena adanya kombinasi antara letak DG dan kapasitas DG, terdapat kemungkinan hasil dari PSO akan berhenti pada *local minima*, sehingga *Gbest* akan diiterasi lagi dengan solusi acak.
- 2 Penempatan satu atau lebih DG mungkin menghasilkan *fitness* yang sama.

Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan pengembangan pada PSO dengan memasukkan hasil dari PSO ke dalam kmatrik yang terdiri dari letak DG, kapasitas DG, dan kerugian daya. Hasil terbaik akan diurutkan berdasarkan minimum kerugian daya dan baris pertama menjadi letak dan kapasitas paling optimum.

$$\text{Kmatrik} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & \dots & size_1 & losses_1 \\ \vdots & & & size_2 & losses_2 \\ \vdots & & & & \\ x_{n1} & & & size_n & losses_n \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3

PENERAPAN HPSO PADA PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS DG

3.1 Algoritma HPSO pada Proses Peletakan dan Penentuan Kapasitas DG

Tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan kapasitas dan peletakan DG yang optimum pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus berdasarkan stabilitas tegangan menggunakan HPSO. Jenis DG yang digunakan merupakan DG yang memberikan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Pengolahan dan simulasi dikerjakan dengan menggunakan *software* MATLAB. Parameter-parameter yang digunakan pada HPSO yaitu :

1. Jumlah partikel = 70
2. Iterasi maksimum = 70
3. $C_1 = 2.0$
4. $C_2 = 2.0$
5. $W_{\max} = 0.9$
6. $W_{\min} = 0.4$

Pada metode HPSO ini digunakan untuk menemukan *objective function* yaitu :

$$f = \min \left\{ \sum P_{Loss} \right\} \quad (3.1)$$

Dalam penentuan letak dan kapasitas DG ada beberapa konstrain yang harus dipenuhi yaitu :

$$1. \text{ Kapasitas DG : } 0 \leq \sum_{k=1}^n P_{DG} \leq \sum P_{load} \quad (n=\text{jumlah DG}) \quad (3.2)$$

$$2. \text{ Letak DG : } 2 \leq \text{Letak DG} \leq n_{bus} \quad (3.3)$$

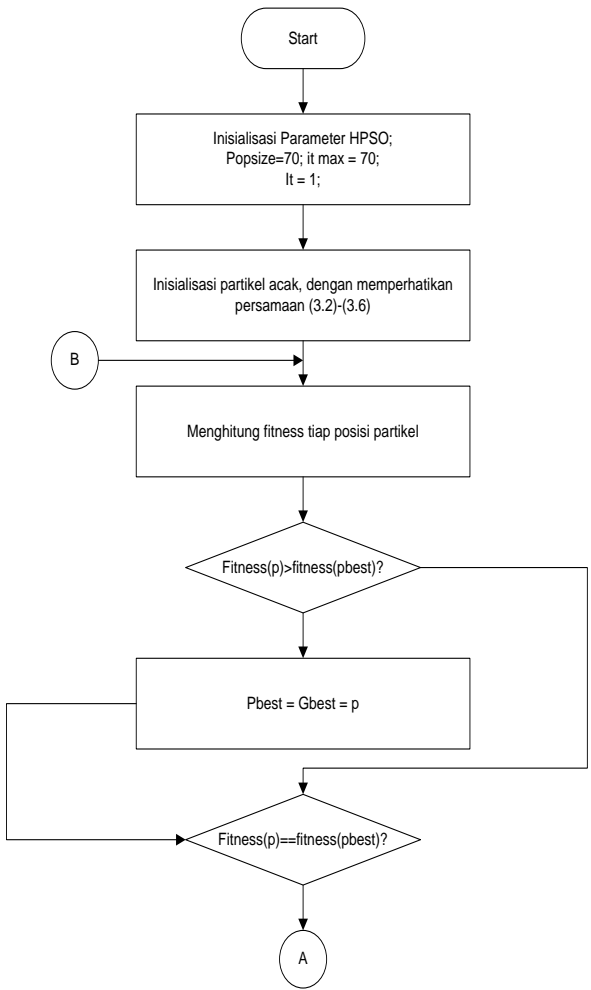
$$3. \text{ Letak DG : } P_{DG1} \neq P_{DG2} \neq P_{DG3} \quad (3.4)$$

$$4. \text{ Tegangan setiap bus : } 0.95 \leq V_{bus} \leq 1.05 \quad (3.5)$$

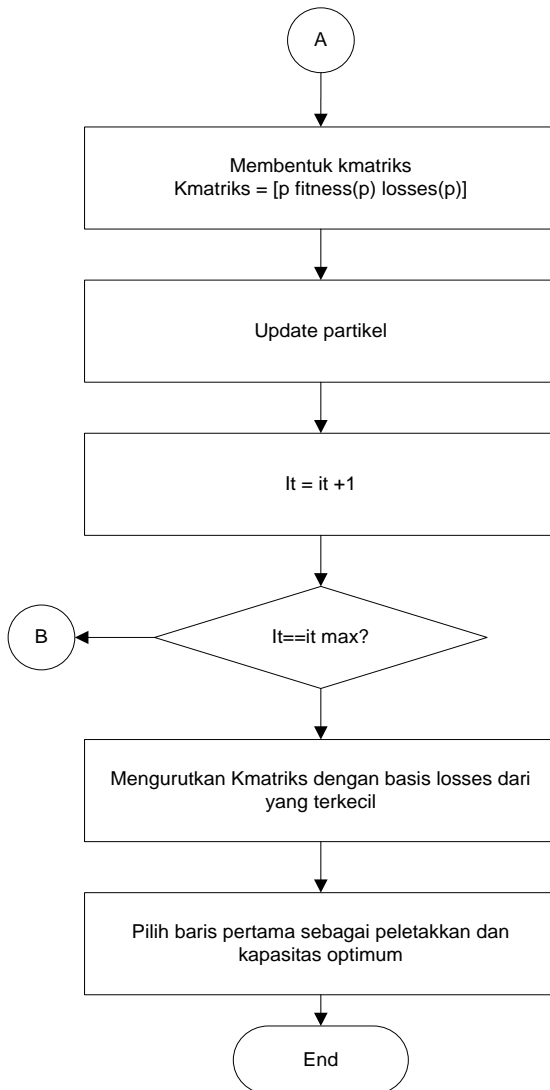
Besar jumlah daya reaktif dari DG didapat dari rumus :

$$Q_{DG} = P_{DG} \times \tan \left(\cos^{-1}(\text{power factor}) \right) \quad (3.6)$$

Flowchart program HPSO dalam tugas akhir ini dapat dilihat dalam gambar 3.1.



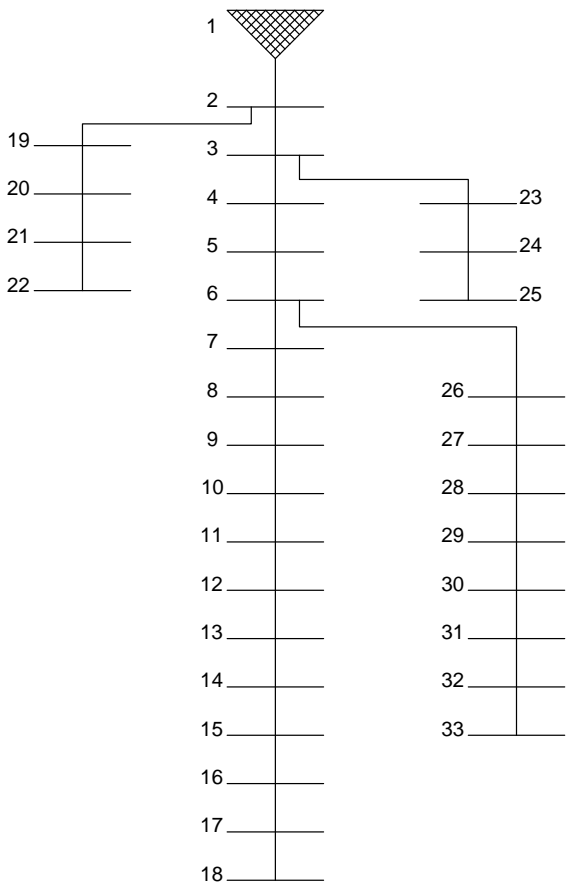
Gambar 3. 1 *Flowchart* HPSO



Gambar 3. 1 Flowchart HPSO (lanjutan)

3.2 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Sistem yang digunakan adalah sistem distribusi radial IEEE 33 bus yang terdiri dari 33 bus. Terdapat 32 bus beban dan 1 slack bus yang digunakan sebagai bus referensi. Single line diagram IEEE 33 bus dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 *Single Line Diagram* sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Data saluran dan data beban IEEE 33 bus yaitu:

Tabel 3. 1 Data beban pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Nomor Bus	P (kW)	Q (kVAR)
1	0	0
2	100	60
3	90	40
4	120	80
5	60	30
6	60	20
7	200	100
8	200	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30
12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10
16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50
24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40

Tabel 3. 2 Data impedansi saluran pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Dari	Ke	R (ohms)	X (Ohms)
1	2	0.0922	0.0470
2	3	0.4930	0.2510
3	4	0.3661	0.1864
4	5	0.3811	0.1941
5	6	0.8190	0.7070
6	7	0.1872	0.6188
7	8	1.7117	1.2357
8	9	1.0299	0.7400
9	10	1.0440	0.7400
10	11	0.1967	0.0651
11	12	0.3744	0.1237
12	13	1.4680	1.1549
13	14	0.5416	0.7129
14	15	0.5909	0.5260
15	16	0.7462	0.5449
16	17	1.2889	1.7210
17	18	0.7320	0.5739
2	19	0.1640	0.1564
19	20	1.5042	1.3555
20	21	0.4095	0.4784
21	22	0.7089	0.9373
3	23	0.4512	0.3084
23	24	0.8980	0.7091
24	25	0.8959	0.7010
6	26	0.2031	0.1034
26	27	0.2842	0.1447
27	28	1.0589	0.9338
28	29	0.8043	0.7006
29	30	0.5074	0.2585
30	31	0.9745	0.9629
31	32	0.3105	0.3619
32	33	0.3411	0.5302

Penyelesaian analisa aliran daya dilakukan menggunakan metode *forward-backward sweep* dan dimodifikasi dengan metode *Network Topologi* didasarkan pada :

Base tegangan : 12,66 kV

Base daya : 100 MVA

Akurasi : 0.00000001

3.3 Perhitungan Lambda Tegangan

Perhitungan lambda tegangan (λ_v) digunakan untuk mencari *loading factor* beban saat beban di setiap bus dinaikkan dan tidak mengganggu besar tegangan pada bus tersebut.

$$P_{new} = P_0 \times \text{loading factor}(\lambda_v) \quad (3.7)$$

$$Q_{new} = Q_0 \times \text{loading factor}(\lambda_v) \quad (3.8)$$

Dimana :

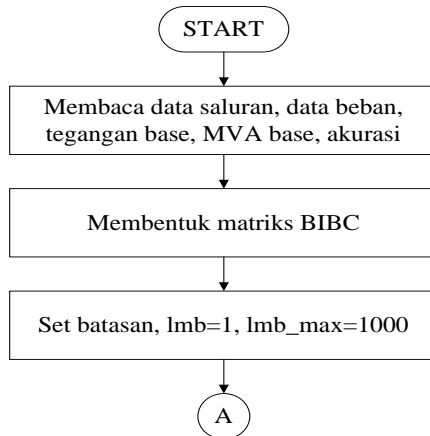
P_0 = daya aktif awal

Q_0 = daya reaktif awal

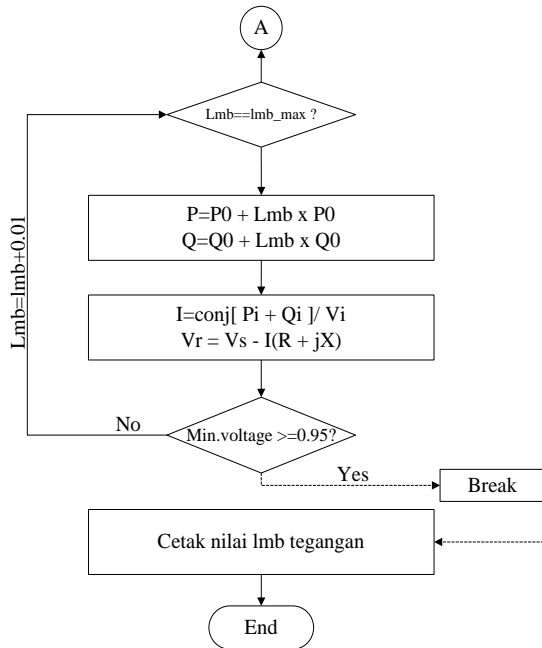
P_{new} = daya aktif akhir

Q_{new} = daya reaktif akhir

λ_v = *loading factor*



Gambar 3. 3 *Flowchart* perhitungan lambda tegangan



Gambar 3. 3 *Flowchart* perhitungan lambda tegangan (lanjutan)

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Simulasi Tanpa DG

Sebelum melakukan penambahan DG, dilakukan perhitungan aliran daya saat tanpa DG. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi awal dari sistem distribusi IEEE 33 bus. Simulasi aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode *forward backward sweep* yang dimodifikasi dengan metode *Network Topology*. Kondisi awal yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil simulasi setelah dilakukan pemasangan DG.

Parameter yang digunakan pada analisa aliran daya adalah sebagai berikut:

Base tegangan : 12.66 kV
 Base daya : 100 MVA
 Akurasi : 0.00000001

Tabel 4. 1 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus sebelum pemasangan DG

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kVar	kW	kVar
1	1.000	0	0	3932.9	2445.1
2	0.997	100	60	0	0
3	0.9829	90	40	0	0
4	0.9755	120	80	0	0
5	0.9681	60	30	0	0
6	0.9497	60	20	0	0
7	0.9462	200	100	0	0
8	0.9413	200	100	0	0
9	0.9351	60	20	0	0
10	0.9292	60	20	0	0
11	0.9284	45	30	0	0
12	0.9269	60	35	0	0
13	0.9208	60	35	0	0
14	0.9185	120	80	0	0
15	0.9171	60	10	0	0

Tabel 4. 1 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus sebelum pemasangan DG (lanjutan)

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kVar	kW	kVar
16	0.9157	60	20	0	0
17	0.9137	60	20	0	0
18	0.9131	90	40	0	0
19	0.9965	90	40	0	0
20	0.9929	90	40	0	0
21	0.9922	90	40	0	0
22	0.9916	90	40	0	0
23	0.9794	90	50	0	0
24	0.9727	420	200	0	0
25	0.9694	420	200	0	0
26	0.9477	60	25	0	0
27	0.9452	60	25	0	0
28	0.9337	60	20	0	0
29	0.9255	120	70	0	0
30	0.9220	200	600	0	0
31	0.9178	150	70	0	0
32	0.9169	210	100	0	0
33	0.9166	60	40	0	0
Total		3715	2300	3932.9	2445.1

Dari tabel di atas diperoleh bahwa nilai total daya semu dari sistem IEEE 33 bus adalah :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.1)$$

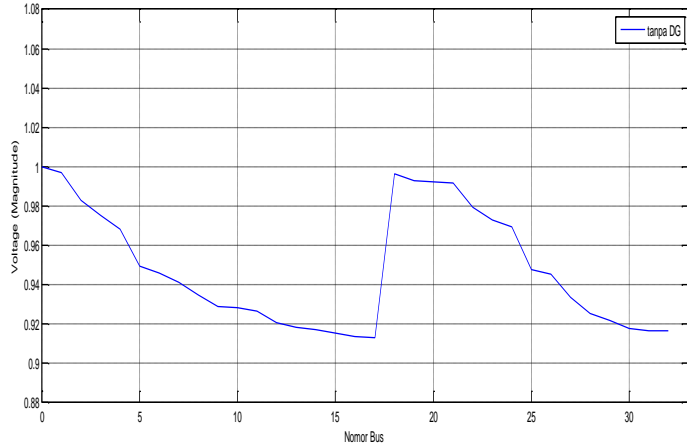
$$S = \sqrt{3715^2 + 2300^2}$$

$$S = 4369.5 \text{ kVA}$$

$$PF = \frac{P}{S} \quad (4.2)$$

$$PF = \frac{3715}{4369.5}$$

$$PF = 0.8502$$



Gambar 4. 1 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus sebelum pemasangan DG

Dari hasil simulasi aliran daya diperoleh bahwa pada beberapa bus nilai tegangan berada di bawah nilai tegangan yang diijinkan, dan nilai tegangan terendah berada pada bus 18 sebesar 0.9131 pu dan total daya semu pada sistem adalah sebesar 4369.5 kVA.

Sementara dengan perhitungan mencari λ_v didapat bahwa $\lambda_v = 0.55$ yang berarti saat simulasi tanpa DG, beban yang dapat dipenuhi tanpa mengganggu nilai tegangan yaitu sebesar 2403.23 kVA.

Untuk mencari besar rugi daya pada saluran distribusi digunakan rumus :

$$P_{Loss} = |I|^2 \times R \quad (4.3)$$

$$Q_{Loss} = |I|^2 \times X \quad (4.4)$$

Dimana :

P_{Loss} = rugi daya aktif

Q_{Loss} = rugi daya reaktif

I = *magnitude* nilai arus

R = resistansi saluran

X = reaktansi saluran

Dari rumus (4.3) dan (4.4) didapatkan kerugian daya tiap saluran seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. 2 Rugi daya tiap saluran sebelum pemasangan DG

No.	Saluran		Rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
1	1	2	14.151	7.214
2	2	3	58.853	29.976
3	3	4	21.201	10.797
4	4	5	19.872	10.121
5	5	6	40.415	34.889
6	6	7	2.496	8.25
7	7	8	6.332	2.093
8	8	9	5.505	3.955
9	9	10	4.644	3.292
10	10	11	0.714	0.236
11	11	12	1.149	0.38
12	12	13	3.517	2.767
13	13	14	0.976	1.285
14	14	15	0.512	0.456
15	15	16	0.391	0.286
16	16	17	0.345	0.461
17	17	18	0.071	0.055
18	2	19	0.215	0.205
19	19	20	1.112	1.002
20	20	21	0.135	0.157
21	21	22	0.058	0.077
22	3	23	4.13	2.822

Tabel 4. 2 Rugi daya tiap saluran sebelum pemasangan DG (lanjutan)

No.	Saluran		Rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
23	23	24	6.715	5.303
24	24	25	1.68	1.315
25	6	26	2.045	1.041
26	26	27	2.512	1.279
27	27	28	8.138	7.175
28	28	29	5.305	4.622
29	29	30	2.361	1.203
30	30	31	2.057	2.033
31	31	32	0.271	0.316
32	32	33	0.015	0.023
Total			217.893	145.086

4.2 Simulasi dengan Pemasangan Satu DG

Penentuan kapasitas dan letak DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dilakukan metode HPSO. Dengan metode HPSO didapatkan daya keluaran DG sebesar 2491.7 kW dan diletakan pada bus 7. Analisa aliran daya pada pemasangan satu DG dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan satu DG

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kVar	kW	kVar
1	1.0000	0	0	1289.29	813.516
2	0.9990	100	60	0	0
3	0.9956	90	40	0	0
4	0.9959	120	80	0	0
5	0.9967	60	30	0	0
6	0.9988	60	20	0	0
7	1.0043	200	100	2491.7	1542.6
8	0.9998	200	100	0	0
9	0.9939	60	20	0	0
10	0.9884	60	20	0	0

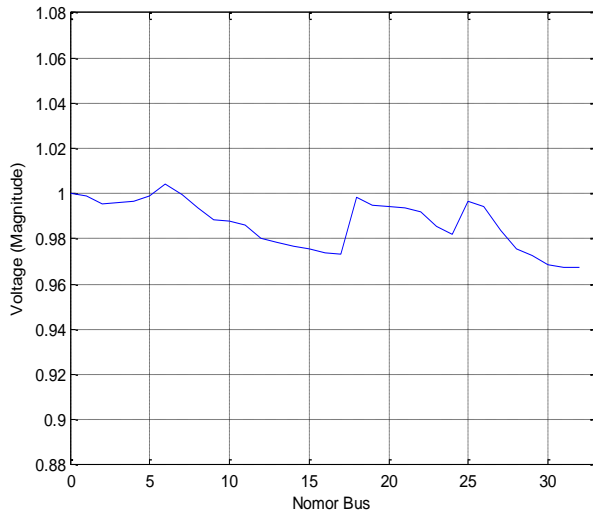
Tabel 4. 3 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan satu DG (lanjutan)

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kW	kW	kVar
11	0.9876	45	30	0	0
12	0.9862	60	35	0	0
13	0.9805	60	35	0	0
14	0.9784	120	80	0	0
15	0.9770	60	10	0	0
16	0.9757	60	20	0	0
17	0.9738	60	20	0	0
18	0.9733	90	40	0	0
19	0.9985	90	40	0	0
20	0.9949	90	40	0	0
21	0.9942	90	40	0	0
22	0.9936	90	40	0	0
23	0.9920	90	50	0	0
24	0.9854	420	200	0	0
25	0.9822	420	200	0	0
26	0.9969	60	25	0	0
27	0.9945	60	25	0	0
28	0.9837	60	20	0	0
29	0.9759	120	70	0	0
30	0.9725	200	600	0	0
31	0.9686	150	70	0	0
32	0.9677	210	100	0	0
33	0.9674	60	40	0	0
Total		3715	2300	3780.99	2356.12

Dari rumus (4.1) didapat nilai daya semu DG adalah :

$$S = \sqrt{2491.7^2 + 1542.6^2}$$

$$S = 2930 \text{ kVA}$$



Gambar 4. 2 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus setelah pemasangan satu DG

Setelah pemasangan satu DG, dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa tegangan sudah mengalami perbaikan dibanding saat pemasangan tanpa DG. Pada simulasi ini tidak ada lagi bus dengan tegangan yang berada di bawah 0.95. Tegangan terendah terletak pada bus 18 sebesar 0.9733 pu.

Sementara dengan perhitungan mencari λ_v didapat bahwa $\lambda_v = 1.49$ yang berarti saat simulasi dengan pemasangan satu DG, beban yang dapat dipenuhi tanpa mengganggu nilai tegangan yaitu sebesar 6510.56 kVA. Dari sini didapat bahwa dengan pemasangan satu buah DG, beban yang dapat ditanggung sistem naik dari pembebanan saat tanpa DG.

Sedangkan untuk rugi daya dari rumus (4.3) dan (4.4) setelah pemasangan satu buah DG menurun menjadi 65.98 kW untuk rugi daya aktif dan untuk rugi daya reaktif menjadi 56.116 kVar.

Tabel 4. 4 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan satu DG

No.	Saluran		Rugi Daya Sebelum Pemasangan DG		Rugi Daya Setelah Pemasangan DG	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
1	1	2	14.151	7.214	1.527	0.778
2	2	3	58.853	29.976	3.357	1.71
3	3	4	21.201	10.797	0.16	0.082
4	4	5	19.872	10.121	0.414	0.211
5	5	6	40.415	34.889	1.245	1.075
6	6	7	2.496	8.25	3.679	12.161
7	7	8	6.332	2.093	5.64	1.864
8	8	9	5.505	3.955	4.898	3.519
9	9	10	4.644	3.292	4.131	2.928
10	10	11	0.714	0.236	0.635	0.21
11	11	12	1.149	0.38	1.022	0.338
12	12	13	3.517	2.767	3.126	2.459
13	13	14	0.976	1.285	0.867	1.141
14	14	15	0.512	0.456	0.454	0.404
15	15	16	0.391	0.286	0.347	0.254
16	16	17	0.345	0.461	0.306	0.409
17	17	18	0.071	0.055	0.063	0.049
18	2	19	0.215	0.205	0.214	0.205
19	19	20	1.112	1.002	1.108	0.998
20	20	21	0.135	0.157	0.134	0.157
21	21	22	0.058	0.077	0.058	0.077
22	3	23	4.13	2.822	4.019	2.746
23	23	24	6.715	5.303	6.536	5.161
24	24	25	1.68	1.315	1.635	1.279
25	6	26	2.045	1.041	1.839	0.937
26	26	27	2.512	1.279	2.259	1.15
27	27	28	8.138	7.175	7.315	6.45
28	28	29	5.305	4.622	4.768	4.154
29	29	30	2.361	1.203	2.121	1.081

Tabel 4. 4 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan satu DG(lanjutan)

No.	Saluran		Rugi Daya Sebelum Pemasangan DG		Rugi Daya Setelah Pemasangan DG	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
30	30	31	2.057	2.033	1.848	1.826
31	31	32	0.271	0.316	0.244	0.284
32	32	33	0.015	0.023	0.013	0.021
Total			217.893	145.086	65.982	56.116

4.3 Simulasi dengan Pemasangan Dua DG

Penentuan kapasitas dan letak DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dilakukan metode HPSO. Dengan metode HPSO didapatkan daya keluaran DG sebesar 149.6 kW pada bus 16, dan sebesar 2325.1 kW pada bus 27. Analisa aliran daya pada pemasangan satu DG dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan dua DG

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kVar	kW	kVar
1	1.0000	0	0	1300.31	813.73
2	0.9990	100	60	0	0
3	0.9955	90	40	0	0
4	0.9959	120	80	0	0
5	0.9966	60	30	0	0
6	0.9987	60	20	0	0
7	0.9959	200	100	0	0
8	0.9922	200	100	0	0
9	0.9877	60	20	0	0
10	0.9837	60	20	0	0
11	0.9831	45	30	0	0
12	0.9821	60	35	0	0
13	0.9785	60	35	0	0
14	0.9773	120	80	0	0
15	0.9768	60	10	0	0

Tabel 4. 5 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan dua DG (lanjutan)

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kVar	kW	kVar
16	0.9766	60	20	149.6	92.6
17	0.9747	60	20	0	0
18	0.9741	90	40	0	0
19	0.9985	90	40	0	0
20	0.9949	90	40	0	0
21	0.9942	90	40	0	0
22	0.9936	90	40	0	0
23	0.9920	90	50	0	0
24	0.9854	420	200	0	0
25	0.9821	420	200	0	0
26	1.0007	60	25	0	0
27	1.0037	60	25	2325.1	1439.5
28	0.9930	60	20	0	0
29	0.9853	120	70	0	0
30	0.9819	200	600	0	0
31	0.9780	150	70	0	0
32	0.9772	210	100	0	0
33	0.9769	60	40	0	0
Total		3715	2300	3775.01	2345.83

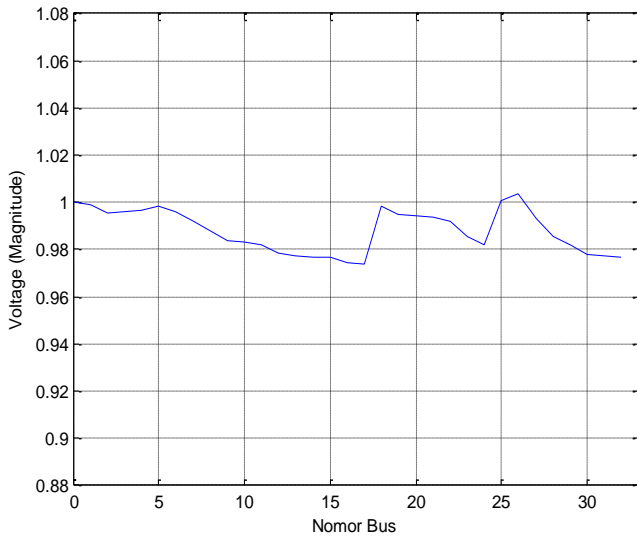
Dari rumus (4.1) didapat nilai daya semua DG adalah :

$$S = \sqrt{149.6^2 + 92.6^2}$$

$$S = 175.94 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{2325.1^2 + 1439.5^2}$$

$$S = 2734.6 \text{ kVA}$$



Gambar 4. 3 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus setelah pemasangan dua DG

Setelah pemasangan dua DG, dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa tegangan sudah mengalami perbaikan dibanding saat pemasangan tanpa DG. Pada simulasi ini tidak ada lagi bus dengan tegangan yang berada di bawah 0.95. Tegangan terendah terletak pada bus 18 sebesar 0.9741 pu.

Sementara dengan perhitungan mencari λ_V didapat bahwa $\lambda_V = 1.84$ yang berarti saat simulasi dengan pemasangan dua buah DG, beban yang dapat dipenuhi tanpa mengganggu nilai tegangan yaitu sebesar 8039.88 kVA dan beban yang dapat ditanggung sistem naik dari pembebanan saat tanpa DG maupun dengan pemasangan satu DG.

Sedangkan untuk rugi daya dari rumus (4.3) dan (4.4) setelah pemasangan dua buah DG menurun menjadi 60.00 kW untuk rugi daya aktif dan untuk rugi daya reaktif menjadi 45.83 kVar. Rugi daya ini berkurang dari rugi daya saat simulasi tanpa DG dan pemasangan satu DG.

Tabel 4. 6 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan dua DG

No.	Saluran		Rugi Daya Sebelum Pemasangan DG		Rugi Daya Setelah Pemasangan DG	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
1	1	2	14.151	7.214	1.547	0.789
2	2	3	58.853	29.976	3.428	1.746
3	3	4	21.201	10.797	0.147	0.075
4	4	5	19.872	10.121	0.393	0.2
5	5	6	40.415	34.889	1.191	1.028
6	6	7	2.496	8.25	1.648	5.447
7	7	8	6.332	2.093	3.869	1.278
8	8	9	5.505	3.955	2.957	2.125
9	9	10	4.644	3.292	2.357	1.67
10	10	11	0.714	0.236	0.337	0.111
11	11	12	1.149	0.38	0.508	0.168
12	12	13	3.517	2.767	1.387	1.091
13	13	14	0.976	1.285	0.328	0.432
14	14	15	0.512	0.456	0.09	0.08
15	15	16	0.391	0.286	0.029	0.021
16	16	17	0.345	0.461	0.304	0.406
17	17	18	0.071	0.055	0.062	0.049
18	2	19	0.215	0.205	0.214	0.205
19	19	20	1.112	1.002	1.108	0.998
20	20	21	0.135	0.157	0.134	0.157
21	21	22	0.058	0.077	0.058	0.077
22	3	23	4.13	2.822	4.02	2.747
23	23	24	6.715	5.303	6.536	5.161
24	24	25	1.68	1.315	1.635	1.279
25	6	26	2.045	1.041	3.864	1.968
26	26	27	2.512	1.279	5.891	2.999
27	27	28	8.138	7.175	7.16	6.313
28	28	29	5.305	4.622	4.666	4.065

Tabel 4. 6 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan dua DG (lanjutan)

No.	Saluran		Rugi Daya Sebelum Pemasangan DG		Rugi Daya Setelah Pemasangan DG	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
29	29	30	2.361	1.203	2.076	1.057
30	30	31	2.057	2.033	1.81	1.789
31	31	32	0.271	0.316	0.239	0.278
32	32	33	0.015	0.023	0.013	0.02
Total			217.893	145.086	60.006	45.831

4.4 Simulasi dengan Pemasangan Tiga DG

Penentuan kapasitas dan letak DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dilakukan metode HPSO. Dengan metode HPSO didapatkan daya keluaran DG sebesar 395 kW pada bus 17, sebesar 2001.2 kW pada bus 23, dan sebesar 1144.5 kW pada bus 28. Analisa aliran daya pada pemasangan satu DG dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan tiga DG

No Bus.	Tegangan (pu)	Beban		Pembangkitan	
		kW	kVar	kW	kVar
1	1.0000	0	0	210.462	137.326
2	0.9998	100	60	0	0
3	1.0007	90	40	0	0
4	0.9983	120	80	0	0
5	0.9962	60	30	0	0
6	0.9911	60	20	0	0
7	0.9892	200	100	0	0
8	0.9868	200	100	0	0
9	0.9846	60	20	0	0
10	0.9829	60	20	0	0
11	0.9827	45	30	0	0
12	0.9824	60	35	0	0
13	0.9822	60	35	0	0
14	0.9825	120	80	0	0
15	0.9835	60	10	0	0

Tabel 4. 7 Aliran daya pada sistem IEEE 33 bus saat pemasangan tiga DG (lanjutan)

16	0.9850	60	20	0	0
17	0.9890	60	20	395	244.5
18	0.9884	90	40	0	0
19	0.9993	90	40	0	0
20	0.9957	90	40	0	0
21	0.9950	90	40	0	0
22	0.9944	90	40	0	0
23	1.0052	90	50	2001.2	1239
24	0.9987	420	200	0	0
25	0.9955	420	200	0	0
26	0.9912	60	25	0	0
27	0.9914	60	25	0	0
28	0.9925	60	20	1144.5	708.6
29	0.9848	120	70	0	0
30	0.9814	200	600	0	0
31	0.9775	150	70	0	0
32	0.9766	210	100	0	0
33	0.9764	60	40	0	0
Total		3715	2300	3751.16	2329.426

Dari rumus (4.1) didapat nilai daya semua DG adalah :

$$S = \sqrt{395^2 + 244.5^2}$$

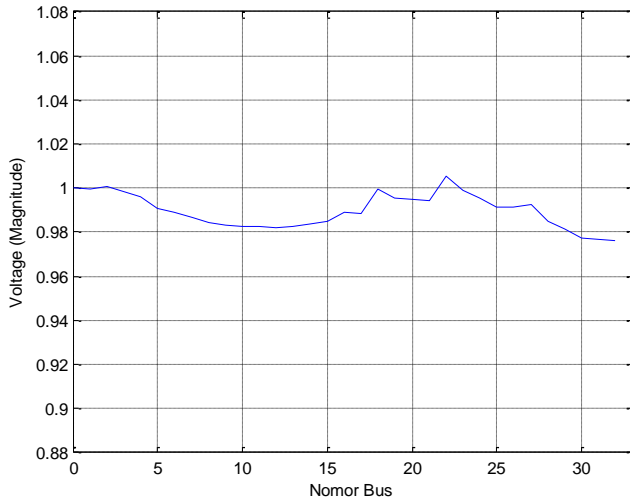
$$S = 464.55 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{2001.2^2 + 1239^2}$$

$$S = 2353.7 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{1144.5^2 + 708.6^2}$$

$$S = 1346.1 \text{ kVA}$$



Gambar 4. 4 Profil tegangan sistem IEEE 33 bus setelah pemasangan tiga DG

Setelah pemasangan tiga DG, dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa tegangan sudah mengalami perbaikan dibanding saat pemasangan tanpa DG. Pada simulasi ini tidak ada lagi bus dengan tegangan yang berada di bawah 0.95. Tegangan terendah terletak pada bus 33 sebesar 0.9764 pu.

Sementara dengan perhitungan mencari λ_v didapat bahwa $\lambda_v = 2.02$ yang berarti saat simulasi dengan pemasangan dua buah DG, beban yang dapat dipenuhi tanpa mengganggu nilai tegangan yaitu sebesar 8826.39 kVA dan beban yang dapat ditanggung sistem naik dari pembebanan saat tanpa DG maupun dengan pemasangan satu DG dan dua DG.

Sedangkan untuk rugi daya dari rumus (4.3) dan (4.4) setelah pemasangan tiga buah DG menurun menjadi 36.16 kW untuk rugi daya aktif dan untuk rugi daya reaktif menjadi 29.426 kVar. Rugi daya ini berkurang dari rugi daya saat simulasi tanpa DG, pemasangan satu DG, dan dua DG.

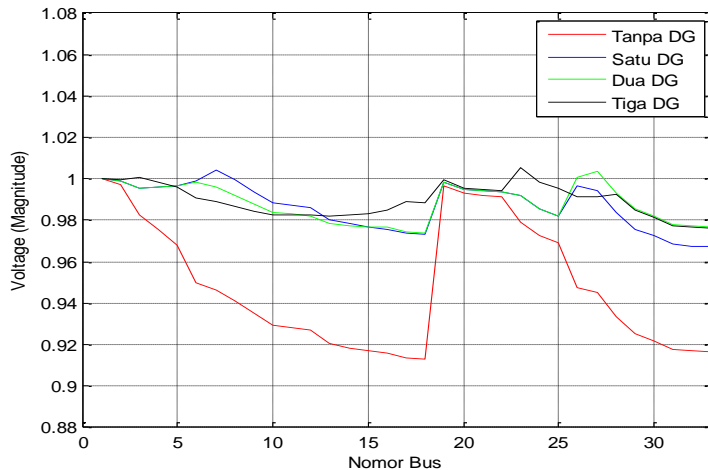
Tabel 4. 8 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan tiga DG

No.	Saluran		Rugi Daya Sebelum Pemasangan DG		Rugi Daya Setelah Pemasangan DG	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
1	1	2	14.151	7.214	0.041	0.021
2	2	3	58.853	29.976	0.309	0.157
3	3	4	21.201	10.797	1.894	0.964
4	4	5	19.872	10.121	1.368	0.697
5	5	6	40.415	34.889	2.377	2.052
6	6	7	2.496	8.25	0.893	2.953
7	7	8	6.332	2.093	1.699	0.562
8	8	9	5.505	3.955	0.843	0.606
9	9	10	4.644	3.292	0.529	0.375
10	10	11	0.714	0.236	0.053	0.018
11	11	12	1.149	0.38	0.053	0.017
12	12	13	3.517	2.767	0.048	0.038
13	13	14	0.976	1.285	0	0
14	14	15	0.512	0.456	0.093	0.083
15	15	16	0.391	0.286	0.259	0.189
16	16	17	0.345	0.461	0.788	1.052
17	17	18	0.071	0.055	0.061	0.047
18	2	19	0.215	0.205	0.214	0.204
19	19	20	1.112	1.002	1.106	0.996
20	20	21	0.135	0.157	0.134	0.156
21	21	22	0.058	0.077	0.058	0.077
22	3	23	4.13	2.822	5.066	3.461
23	23	24	6.715	5.303	6.362	5.024
24	24	25	1.68	1.315	1.592	1.245
25	6	26	2.045	1.041	0.092	0.047
26	26	27	2.512	1.279	0.212	0.108
27	27	28	8.138	7.175	1.18	1.041
28	28	29	5.305	4.622	4.686	4.082

Tabel 4. 8 Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan tiga DG(lanjutan)

No.	Saluran		Kerugian Sebelum Pemasangan DG		Kerugian Setelah Pemasangan DG	
	Dari	Ke	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)	Aktif (kW)	Reaktif (kVar)
29	29	30	2.361	1.203	2.085	1.062
30	30	31	2.057	2.033	1.815	1.793
31	31	32	0.271	0.316	0.239	0.279
32	32	33	0.015	0.023	0.013	0.02
Total			217.893	145.086	36.162	29.426

4.5 Perbandingan Ketiga Simulasi Pemasangan DG



Gambar 4. 5 Profil tegangan pada sistem IEEE 33 bus saat sebelum dan sesudah pemasangan DG

Dari gambar 4.5 didapat bahwa dengan meletakkan DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus, tegangan pada semua bus tidak ada yang berada di bawah 0.95 pu dan di atas 1.05 pu. Sedangkan untuk rugi daya aktif dan reaktif juga mengalami penurunan. Sementara untuk nilai λ_v mengalami kenaikan yang berarti beban yang dapat ditanggung sistem

tanpa mengganggu tegangan juga naik. Perbedaan untuk nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Aplikasi HPSO pada penentuan letak dan kapasitas DG

Jumlah DG	Kapasitas DG (kVA)	Rugi Daya Aktif (kW)	Rugi Daya Reaktif (kVar)	λ_v
0	-	217.89	145.086	0.55
1	2930 \rightarrow (7)	65.98	56.116	1.49
2	175.94 \rightarrow (16) 2734.6 \rightarrow (27)	60.00	45.83	1.84
3	464.55 \rightarrow (17) 2353.7 \rightarrow (23) 1346.5 \rightarrow (28)	36.16	29.43	2.02

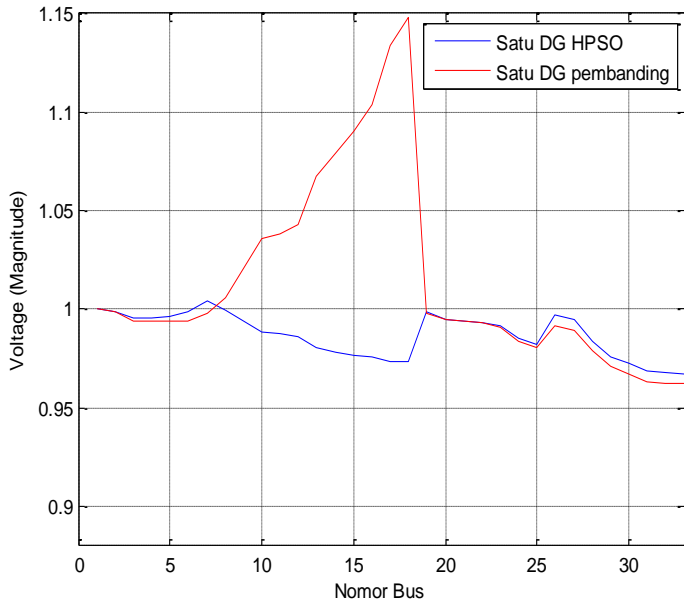
4.6 Perbandingan HPSO dengan Pemasangan DG berdasarkan Letak Tegangan Kritis

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, hasil dari penentuan kapasitas dan letak DG dengan metode HPSO dibandingkan dengan pemasangan DG berdasarkan nilai tegangan kritis pada sistem IEEE 33 bus.

Tabel 4. 10 Rugi daya pemasangan DG berdasarkan nilai tegangan kritis

Jumlah DG	Kapasitas DG (kVA)	HPSO		Berdasarkan Tegangan Kritis	
		Rugi Daya Aktif (kW)	Rugi Daya Reaktif (kVar)	Rugi Daya Aktif (kW)	Rugi Daya Reaktif (kVar)
0	-	217.89	145.086	217.89	145.086
1	2930 \rightarrow (18)	65.98	56.116	300.75	258.35
2	175.94 \rightarrow (18) 2734.6 \rightarrow (33)	60.00	45.83	121.63	112.889
3	464.55 \rightarrow (17) 2353.7 \rightarrow (18) 1346.5 \rightarrow (33)	36.16	29.43	258.39	228.56

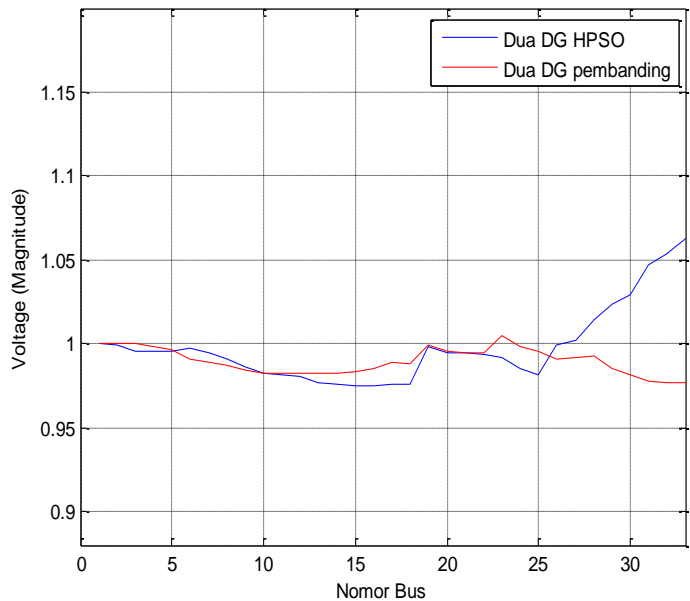
Dari tabel 4.10 dapat dilihat pada pemasangan satu DG, dipasang pada bus 18 dengan daya keluaran sebesar 2930 kVA. Pada pemasangan dua DG, dipasang pada bus 18 dengan daya keluaran sebesar 175.94 kVA dan pada bus 33 dengan daya keluaran sebesar 2734.6 kVA. Pada pemasangan tiga DG, dipasang pada bus 17 dengan daya keluaran sebesar 464.5 kVA, pada bus 18 dengan daya keluaran sebesar 2353.7 kVA, dan pada bus 33 dengan daya keluaran sebesar 1346.5 kVA. Dari tabel ini dapat dilihat juga bahwa rugi daya yang dihasilkan saat pemasangan DG dengan metode HPSO lebih kecil dibandingkan dengan pemasangan DG berdasarkan tegangan kritis.



Gambar 4. 6 Profil tegangan saat pemasangan Satu DG berdasarkan tegangan kritis

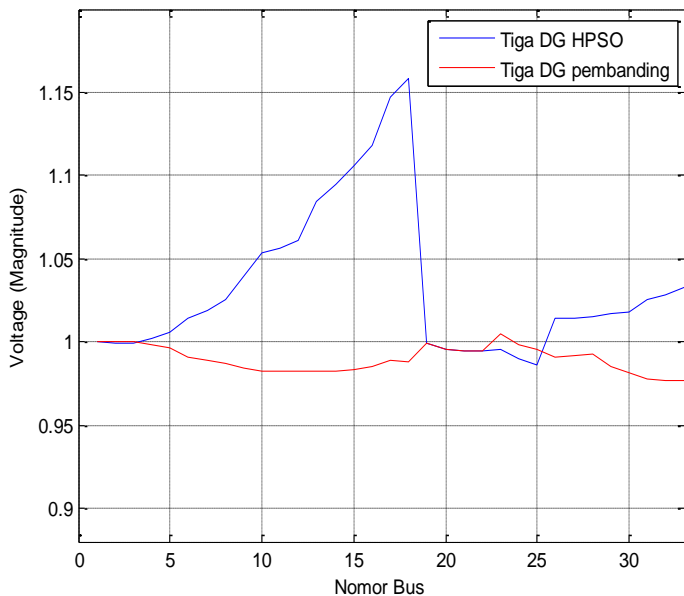
Pada pemasangan satu DG berdasarkan tegangan kritis diperoleh bahwa pada beberapa bus, nilai tegangan berada diatas tegangan standar

yang diizinkan 1.05 pu. Dari gambar 4.6, pemasangan berdasarkan metode HPSO sudah optimal daripada pemasangan berdasarkan tegangan kritis.



Gambar 4. 7 Profil tegangan saat pemasangan dua DG berdasarkan tegangan kritis

Pada pemasangan dua DG berdasarkan tegangan kritis diperoleh bahwa pada beberapa bus nilai tegangan berada diatas tegangan standar yang diizinkan. Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tegangan pada bus 33 berada diatas 1.05 pu. Dibandingkan dengan hal ini, pemasangan berdasarkan metode HPSO sudah optimal daripada pemasangan berdasarkan tegangan kritis.



Gambar 4. 8 Profil tegangan saat pemasangan tiga DG berdasarkan tegangan kritis

Pada pemasangan tiga DG berdasarkan tegangan kritis diperoleh bahwa pada beberapa bus nilai tegangan berada diatas tegangan standar yang diizinkan yaitu 1.05 pu. Dari gambar 4.8, pemasangan berdasarkan metode HPSO sudah optimal daripada pemasangan berdasarkan tegangan kritis.

Dari perbandingan ini diperoleh bahwa dengan metode HPSO sudah merupakan hasil penentuan kapasitas dan letak yang optimal.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi percobaan yang dilakukan pada proses penentuan kapasitas dan letak optimal DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan menggunakan HPSO berdasarkan kestabilan tegangan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode HPSO dapat digunakan sebagai solusi untuk menentukan kapasitas dan letak DG yang optimal.
2. Setelah pemasangan satu DG, dua DG , dan tiga DG ditunjukkan bahwa tegangan mengalami perbaikan tegangan pada sistem dan juga kerugian daya pada sistem.
3. Pada pemasangan satu DG, didapat bahwa letak optimal adalah pada bus 7 dengan daya keluaran DG sebesar 2930 kVA, dengan rugi daya aktif sebesar 65.98 kW, dan λ_V sebesar 1.49.
4. Pada pemasangan dua DG, didapat bahwa letak optimal adalah pada bus 16 dengan daya keluaran DG sebesar 175.94 kVA, dan pada bus 27 dengan daya keluaran DG sebesar 2734.6 kVA, dengan rugi daya aktif sebesar 60 kW, dan λ_V sebesar 1.84.
5. Pada pemasangan tiga DG, didapat bahwa letak optimal adalah pada bus 17 dengan daya keluaran sebesar 464.55 kVA, pada bus 23 dengan daya keluaran DG sebesar 2353.7 kVA, dan pada bus 28 dengan daya keluaran sebesar 1346.5 kVA, dengan rugi daya aktif sebesar 36.16 kW, dan λ_V sebesar 2.02.
6. Berdasarkan perbandingan dengan pemasangan berdasarkan letak tegangan kritis, hasil dari metode HPSO sudah optimal.

5.2 Saran

Dari hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini ada berbagai saran untuk membantu dalam pengembangan untuk Tugas Akhir selanjutnya agar diperoleh hasil yang lebih baik. Saran-saran yang dibutuhkan untuk pengembangan selanjutnya antara lain:

1. Memperhitungkan faktor ekonomis dalam pemasangan DG.
2. Mempertimbangkan penetrasi pembebanan DG.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aman MM, Jasmon GB, Bakar AHA, Mokhlis H, “*A New Approach For Optimum Simultaneous Multi-DG Distributed Generation Units Placement And Sizing Based On Maximization Of System Loadability Using HPSO (Hybrid Particle Swarm Optimization) Algorithm*”, Energy 2014;66(0): 202-215.
- [2] Aman MM, Jasmon GB, Bakar AHA, Mokhlis H, “*A New Approach For Optimum DG Placement And Sizing Based On Voltage Stability Maximization And Minimization Of Power Losses*”, Energy Convers Manag 2013;70(0):202-10.
- [3] Fachri, Misbach, M. “Rekonfigurasi Jaring Distribusi Untuk meningkatkan Indeks Keandalan Dengan Mengurangi Rugi Daya Nyata Pada Sistem Distribusi Surabaya”, Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2014.
- [4] Dharma, Aji. “Penempatan Optimal Sensor Dengan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) Untuk *State Estimation* Pada Sistem Distribusi Surabaya”, Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2014.
- [5] Jen-Hao TENG, “*A Network-Topology-based Three Phase Load Flow for Distribution Systems*”, Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A) Vol.24, No.4, 2000.pp.259-264.
- [6] Dulaua, Lucian Ioan, Abrudeanb Mihail, Bicac Dorin, “*Distributed Generation Technologies And Optimization*”, The 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2013).
- [7] Barker, Philip P, “*Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Distribution Systems*”, 12. IEEE. Retrieved 02 16, 2011, from IEEE.

- [8] K. Purchala, R. Belmans. “*Distributed Generation and grid Integration Issues*”. Imperial College London. 2003.
- [9] Kennedy J, Eberhart R. “*Particle swarm optimization*”. Conference Particle Swarm Optim;4. p. 1942-1948.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hertalina Anastassia Hasibuan dan dilahirkan di Magelang – Jawa Tengah pada Tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Budi Murni 6 Medan dan melanjutkan pendidikan Sekolah Mengah Pertama di SMP Santo Thomas 1 Medan dan SMA Negeri 65 Jakarta Barat. Pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma di Politeknik Negeri Bandung dengan konsentrasi bidang studi Teknik Listrik. Pada tahun 2012 penulis berhasil menyelesaikan pendidikan diploma dan melanjutkan pendidikan untuk jenjang sarjana. Pendidikan sarjana ditempuh di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi bidang studi Teknik Sistem Tenaga.